

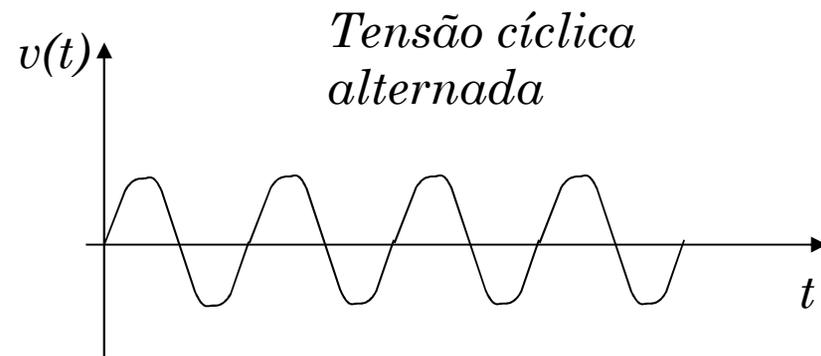
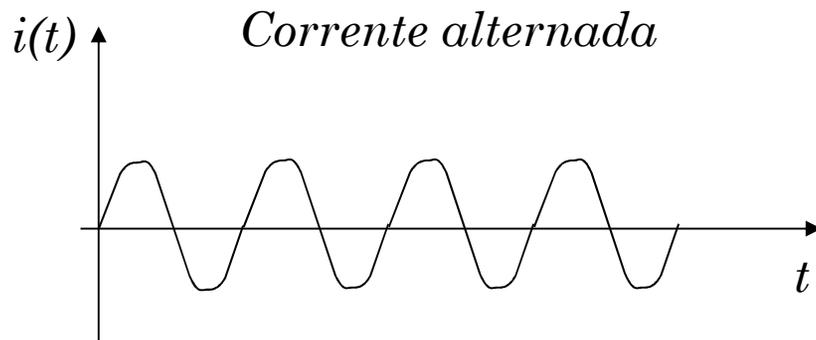
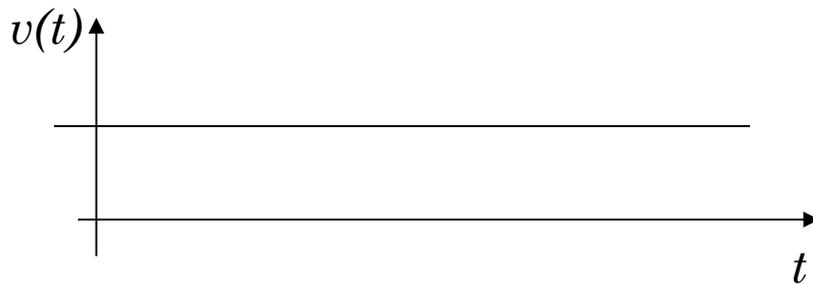


Corrente contínua. Associação de resistores e Leis de Kirchhoff

Corrente e Tensão Elétrica

- Corrente e Tensão Elétrica em função do tempo
 - Podem variar com o passar do tempo
 - Se não variam são ditas **CONTÍNUAS**
 - Se alteram o sinal são ditas **ALTERNADAS**

Tensão contínua



Resistores – Leis de Ohm



Imagem: Autor desconhecido / Georg Simon Ohm / United States Public Domain.

[Georg Simon-Ohm](#)

Vimos anteriormente que a corrente elétrica quando percorre um condutor provoca colisões entre os portadores de carga elétrica (elétrons) e os átomos da rede do condutor. Então os átomos da rede funcionam como verdadeiros obstáculos à passagem da corrente elétrica. Isso gera então o **EFEITO JOULE**.

Animação – efeito Joule

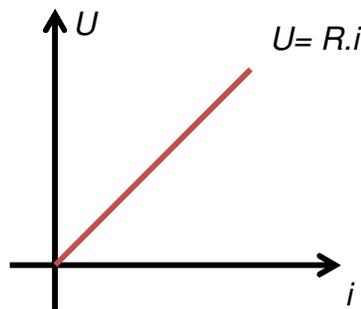
<http://www.eletronica24h.com.br/Curso%20CC/aparte1/paginas1/eletronandando.html>

Ohm estabeleceu a noção de **Resistência Elétrica** e publicou suas observações em 1827 no seu trabalho *Die galvanische Kette mathematisch bearbeitet* (1827; Estudo matemático da corrente galvânica). Nesse trabalho ele apresentou os fundamentos das futuras teorias dos circuitos elétricos.

1ª lei de Ohm

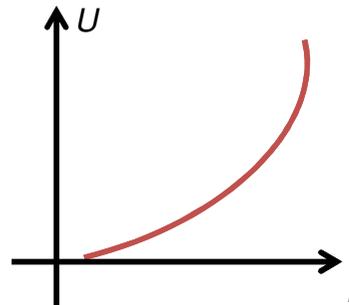
Em um condutor ôhmico mantido à temperatura constante, a intensidade de corrente elétrica é proporcional à diferença de potencial aplicada entre seus terminais. Essa constante recebe o nome de **RESISTÊNCIA ELÉTRICA**. Observe que quanto maior a resistência menor é a corrente estabelecida no condutor e vice-versa.

Primeira lei de Ohm



Para um condutor ôhmico, a ddp (U) é diretamente proporcional a intensidade de corrente elétrica (i)

O mesmo não ocorre com um condutor Não-ôhmico. A ddp (U) não é diretamente proporcional a intensidade de corrente elétrica (i).



Assim teremos que $\frac{U}{i} = \text{constante (R)}$,
No S.I. a resistência elétrica será medida em $V/A = \text{ohms } (\Omega)$
Logo **$U = R \cdot i$**

2ª lei de Ohm

As observações de Ohm o levaram a concluir que **outros fatores** eram determinantes no valor da **resistência elétrica** de um condutor. Seus estudos comprovaram que a resistência elétrica é diretamente proporcional ao **comprimento** do condutor e inversamente proporcional à **área da secção transversal**. Além disso, Ohm demonstra que a resistência depende do material que constitui o condutor. Essa propriedade foi denominada de **resistividade do material** (ρ). Dessa forma podemos escrever:

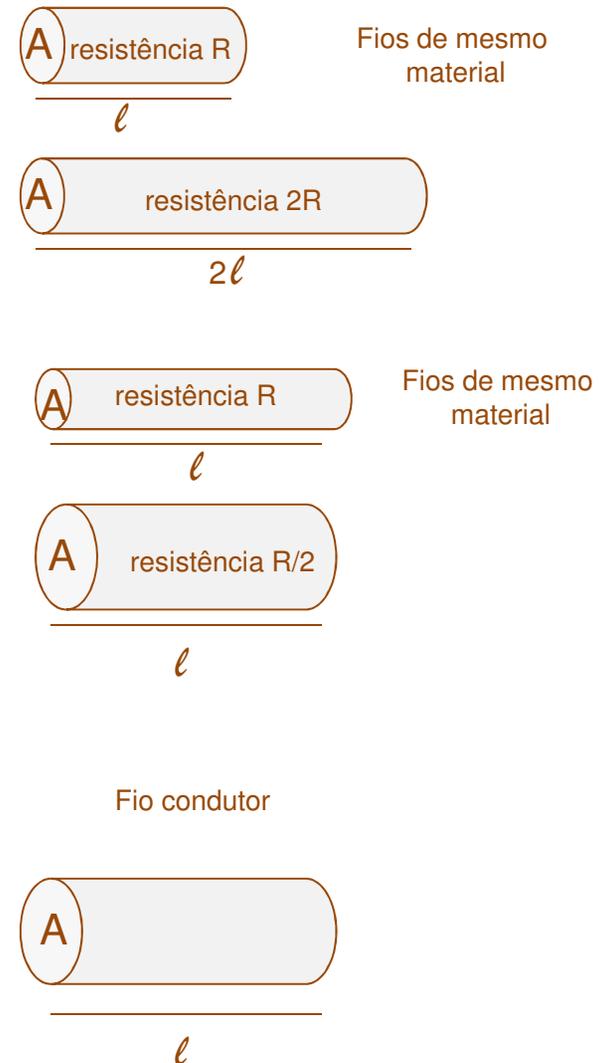
$$R = \rho \cdot \frac{L}{A}$$

R – resistência elétrica (Ω)

ρ - resistividade do material ($\Omega \cdot m$)

L – comprimento do condutor (m)

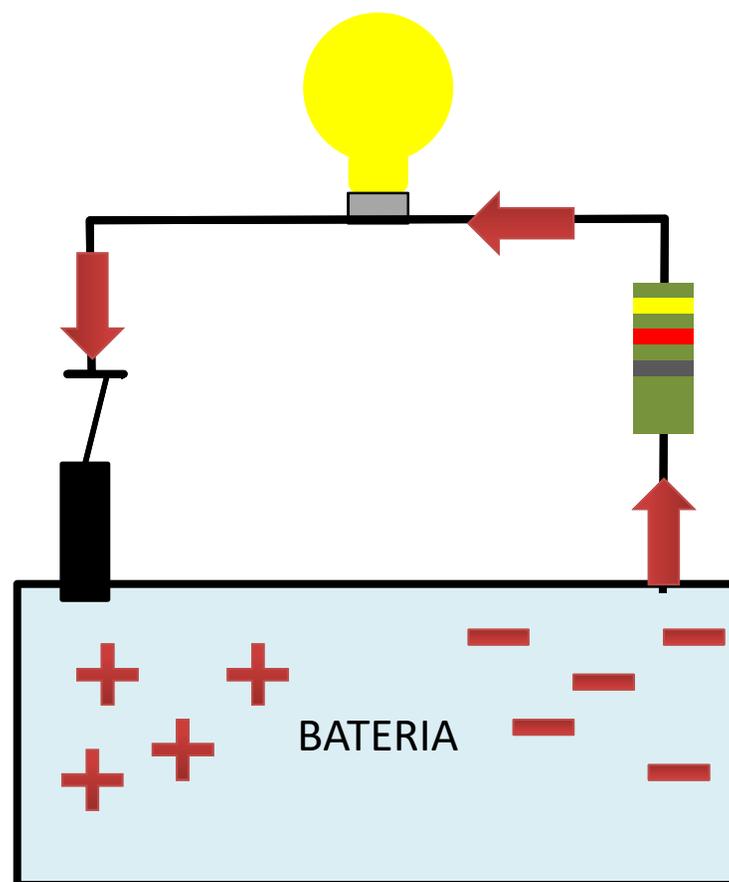
A – área da secção transversal do condutor (m^2)



Potência dissipada num resistor

O que fazer para ligar uma lâmpada de tensão menor que a da rede sem queimá-la?

A solução é fazer a corrente elétrica transformar uma parte da energia recebida em calor (dissipar energia) de forma que o restante seja suficiente para que a lâmpada funcione nos seus valores nominais.



Potência dissipada num resistor

Como já vimos a potência da corrente elétrica dissipada num resistor, representa a energia transformada em calor num determinado intervalo de tempo(efeito joule) que pode ser calculada por

$P = U \cdot i$ como $U = R \cdot i$, então temos

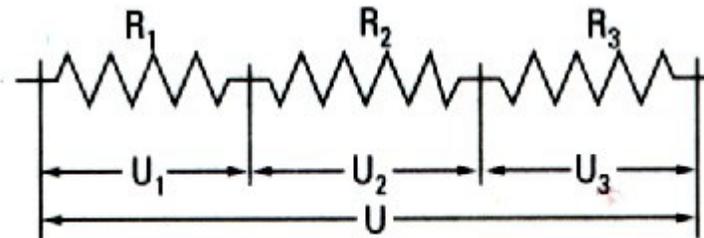
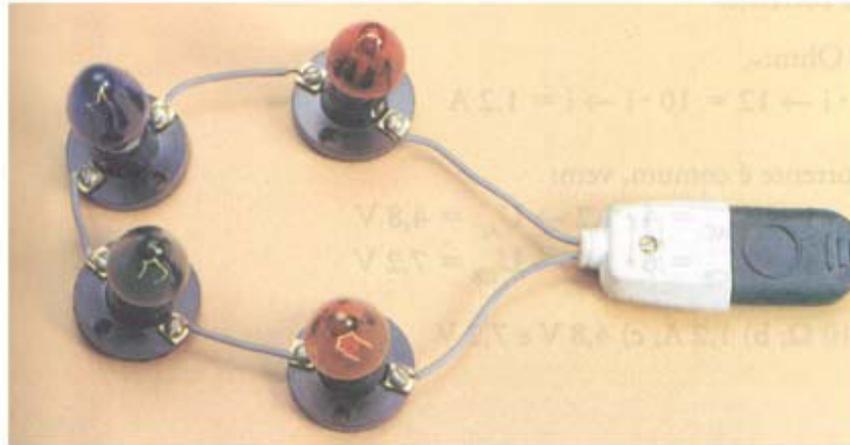
$$***$P = R \cdot i^2$ ou***$$

$$***$P = \frac{U^2}{R}$***$$

Associação de resistores

Resistores em Série

Nesse tipo de associação, a corrente elétrica percorre todos os resistores antes de retornar à tomada.

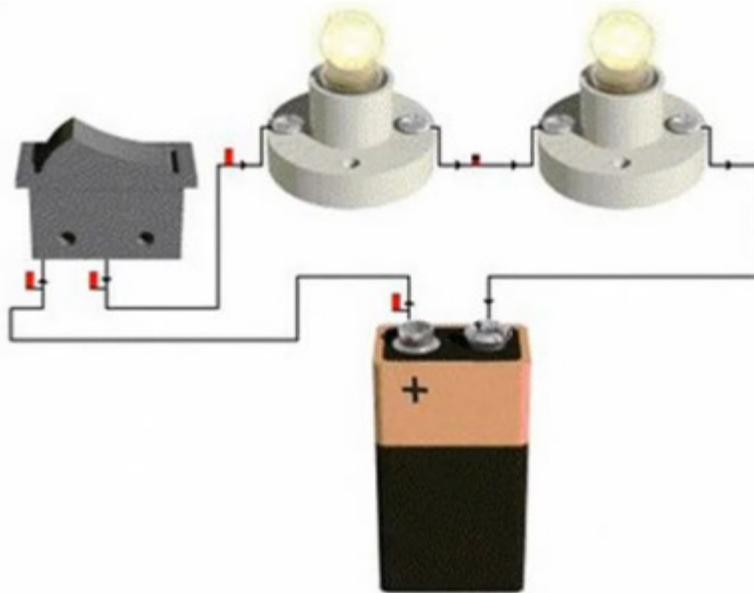


$$U = U_1 + U_2 + U_3$$

CIRCUITO SÉRIE

A resistência total a passagem de corrente é a soma das resistências individuais ao longo do circuito.

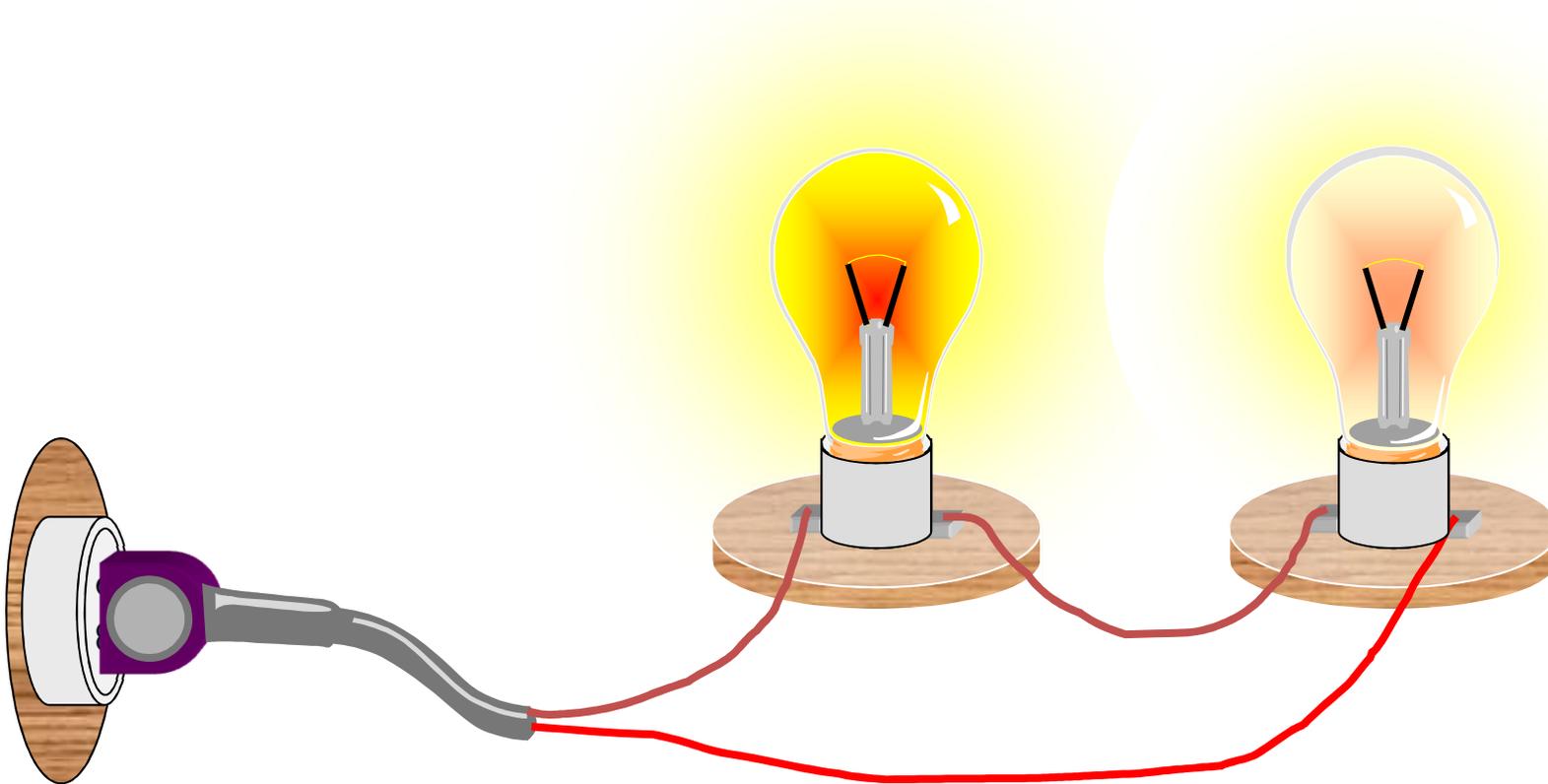
A corrente que passa por qualquer componente é sempre a mesma.



$$R_t = R_1 + R_2 + \dots + R_n$$

CIRCUITO SÉRIE.

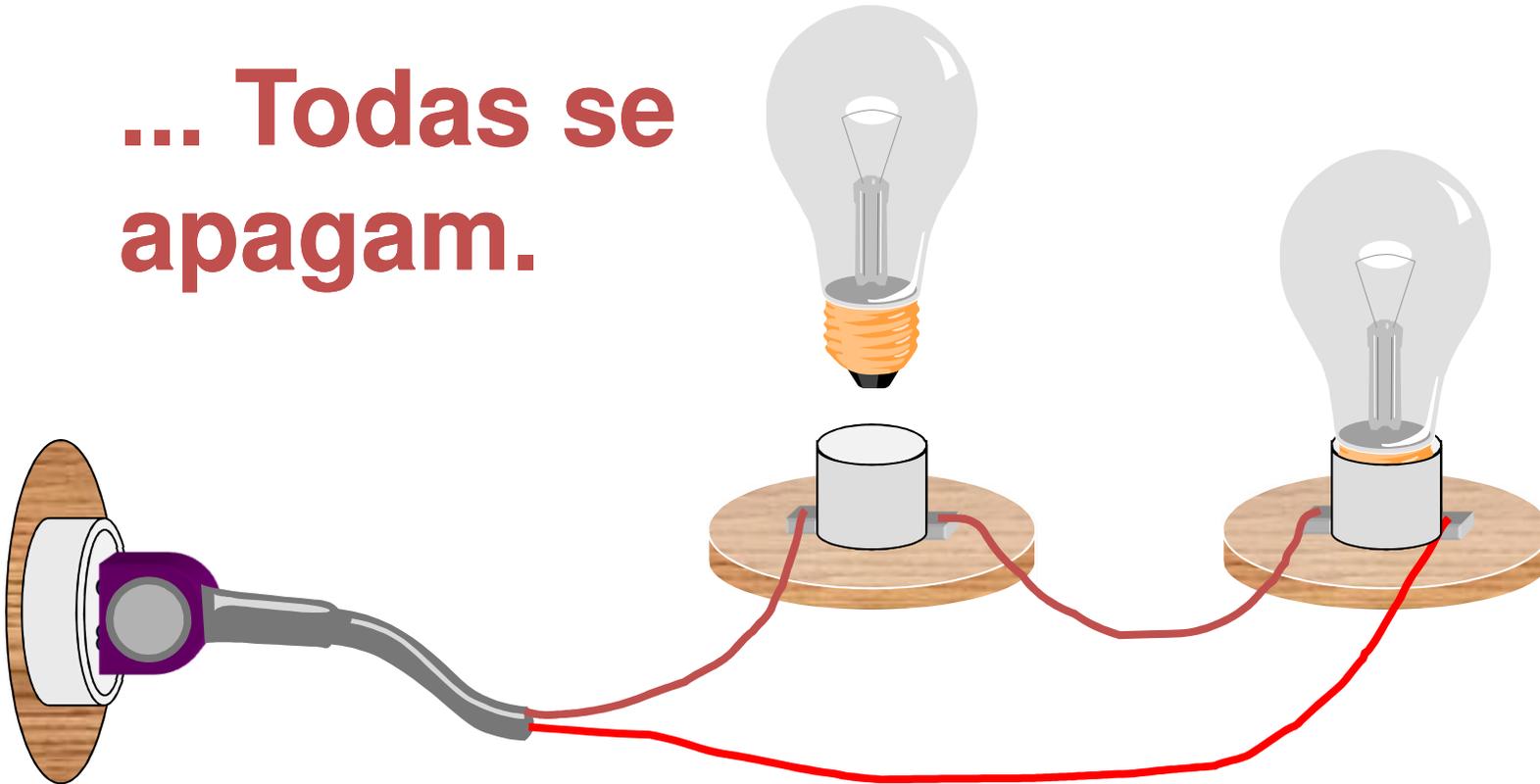
Quando retiramos uma lâmpada....



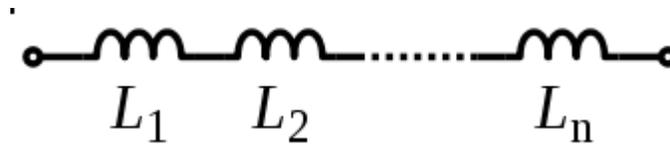
CIRCUITO SÉRIE.

Quando retiramos uma lâmpada....

... Todas se apagam.

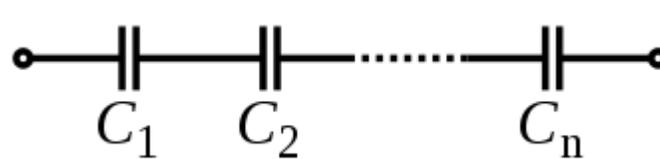


Indutores (bobinas) conectados em série



$$L_t = L_1 + L_2$$

Capacitores conectados em série



$$\frac{1}{C_{\text{total}}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}$$

Resistência equivalente de um circuito em série

A introdução da resistência equivalente em um circuito não modifica o valor da corrente elétrica, temos:

$$U = Ri$$

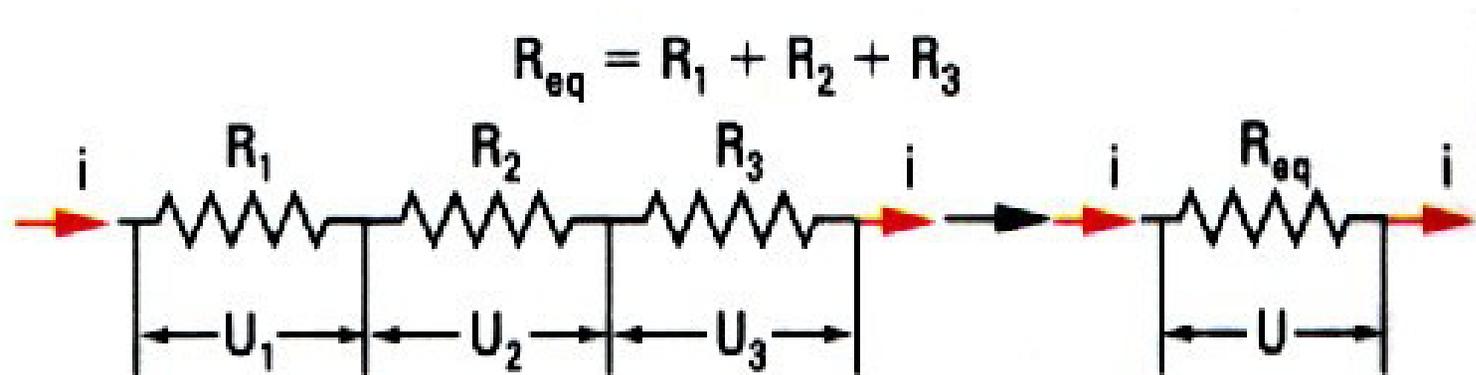
Sabendo que $U = U_1 + U_2 + U_3$, temos:

$$R_{eq} \cdot i = R_1 \cdot i + R_2 \cdot i + R_3 \cdot i$$

Dividindo os membros da igualdade pela corrente i , temos:

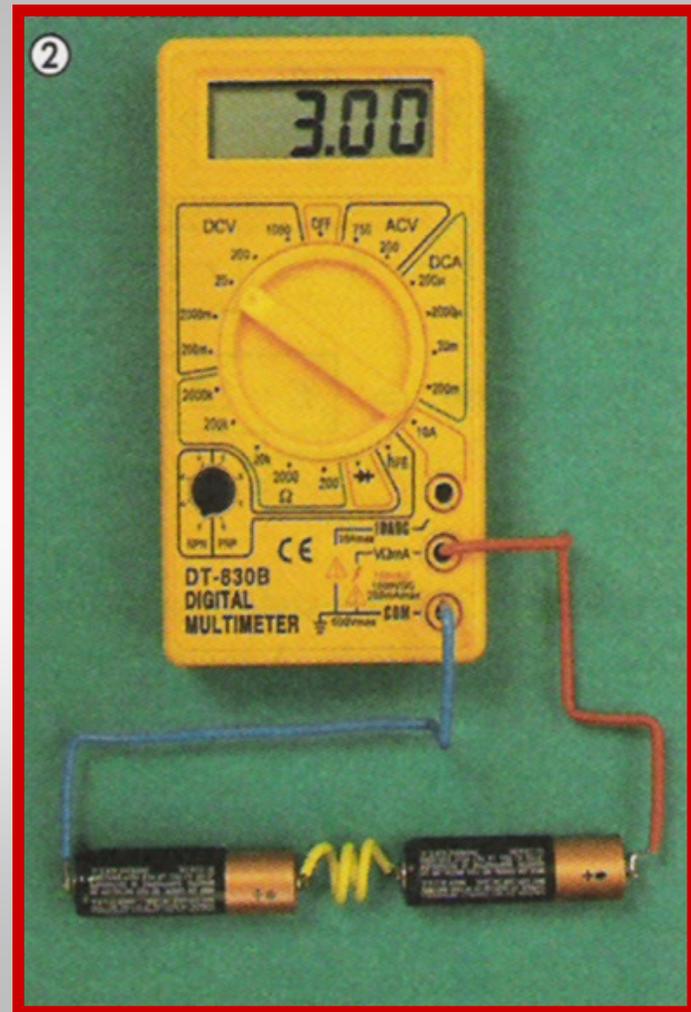
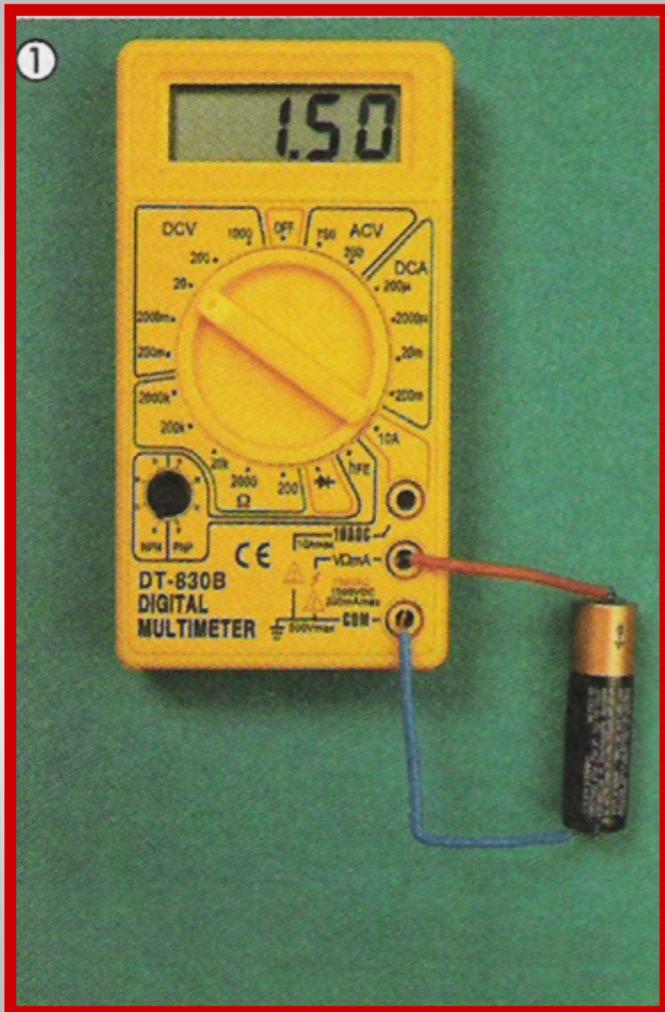
$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3$$

Em geral, numa associação de resistores em série, a resistência equivalente R_{eq} é igual à soma das resistências individuais.



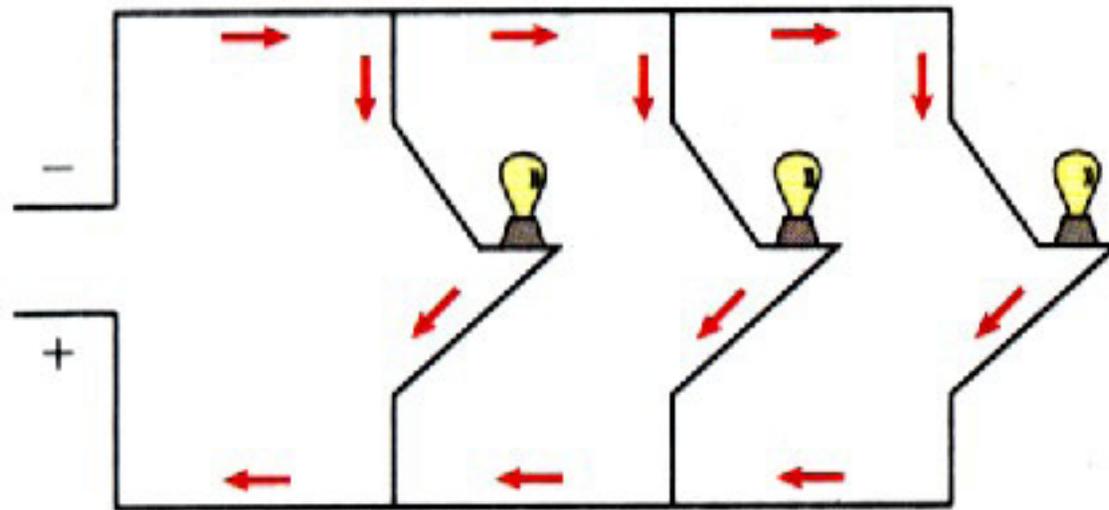
Associação de Geradores

→ Série



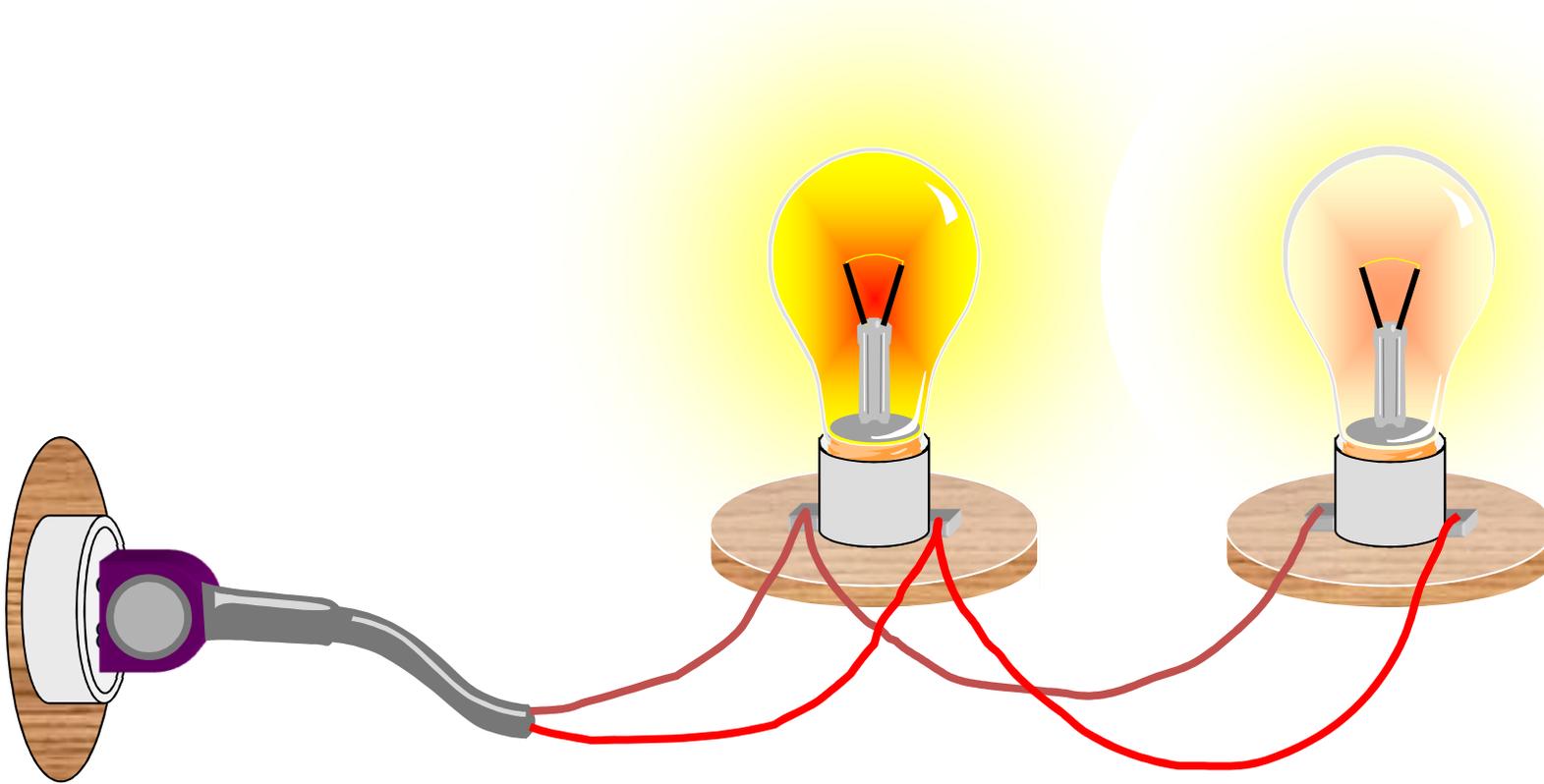
Resistores em paralelo

- Quando vários resistores estão associados em paralelo, a ddp entre os terminais de cada resistor é a mesma e, conseqüentemente, a ddp entre os terminais da associação também é a mesma. Nesse tipo de associação, os elétrons retornam à tomada cada vez que passam por um resistor.



CIRCUITO PARALELO.

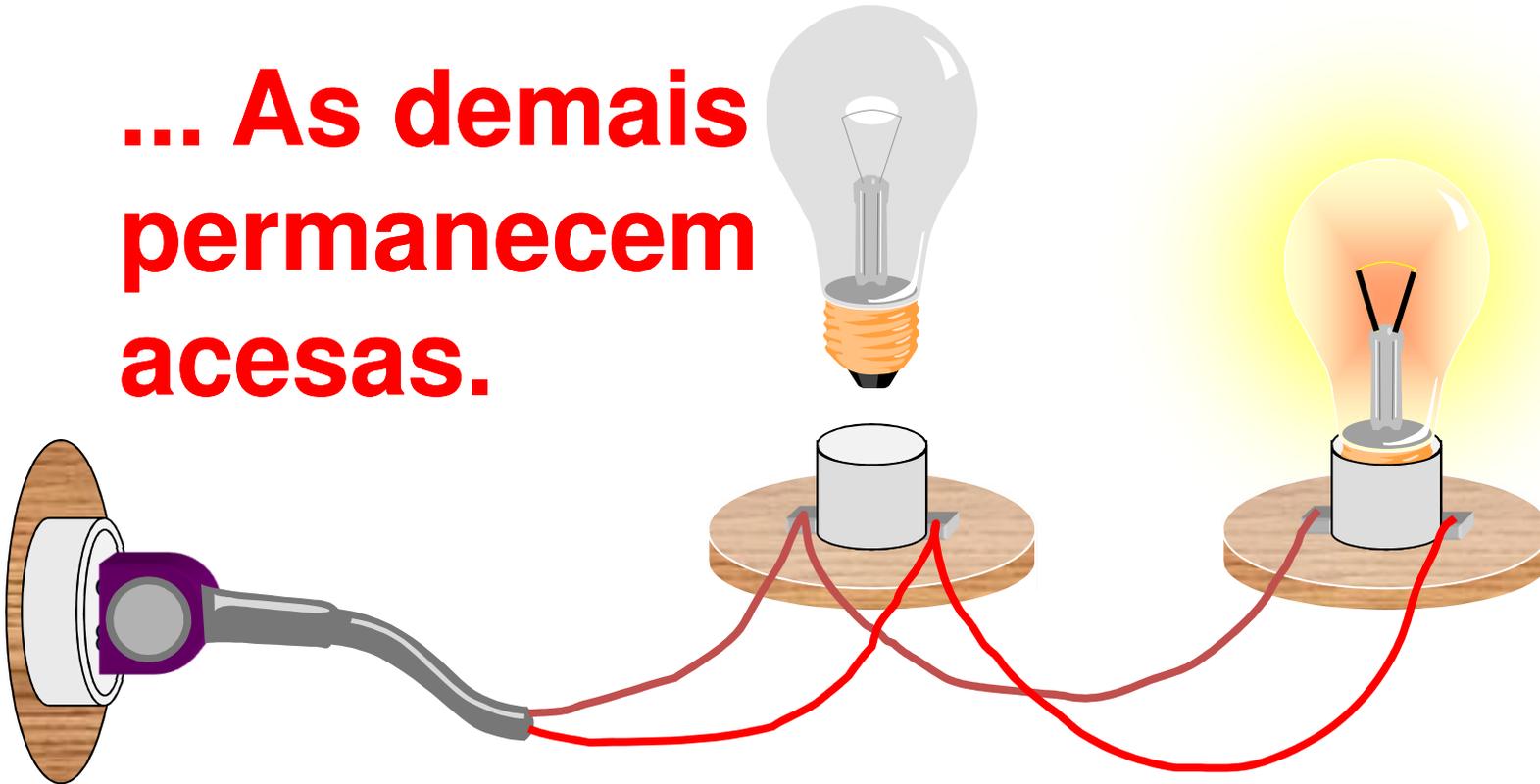
Quando retiramos uma lâmpada....

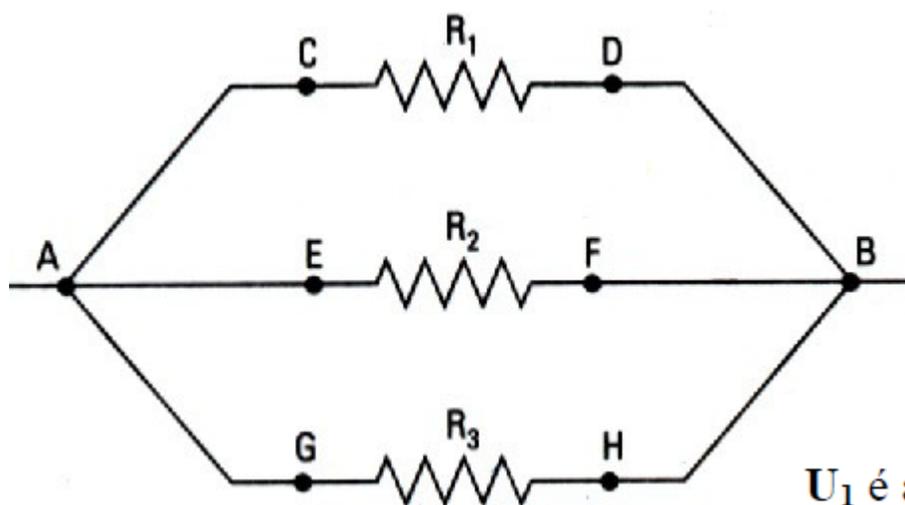


CIRCUITO PARALELO.

Quando retiramos uma lâmpada...

... As demais permanecem acesas.





U_1 é a ddp entre os terminais **C** e **D** de R_1 .

U_2 é a ddp entre os terminais **E** e **F** de R_2 .

U_3 é a ddp entre os terminais **G** e **H** de R_3 .

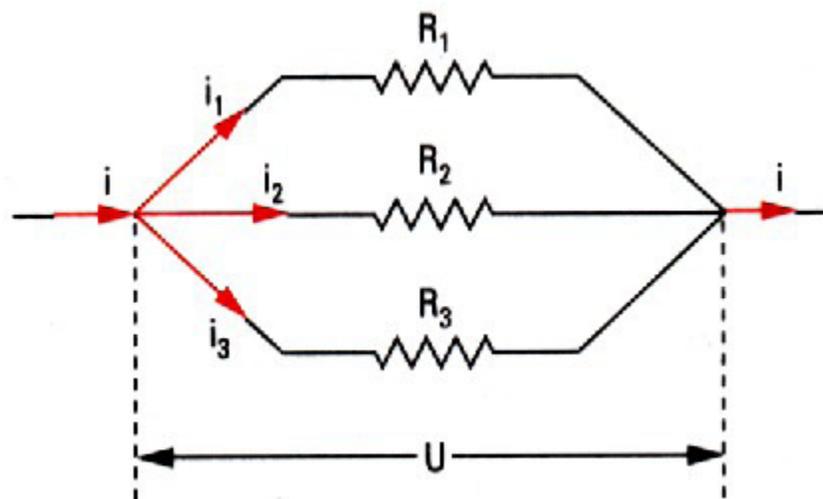
U é a ddp entre os terminais **A** e **B** da associação.

Pelo esquema acima, podemos concluir que:

- O potencial nos pontos C, E e G é igual ao potencial no ponto A;
- O potencial nos pontos D, F e H é igual ao potencial no ponto B.

Portanto $U = U_1 = U_2 = U_3$

Resistência equivalente de um circuito em paralelo



Perceba que:

$$i_1 = \frac{U_1}{R_1} \quad i_2 = \frac{U_2}{R_2} \quad i_3 = \frac{U_3}{R_3}$$

Como a ddp é a mesma nos três resistores, podemos escrever:

$$i_1 = \frac{U}{R_1} \quad i_2 = \frac{U}{R_2} \quad i_3 = \frac{U}{R_3}$$

Como a corrente total pode ser obtida pelo quociente entre a ddp U da associação e a **resistência equivalente R_{eq}** , vem:

$$i = \frac{U}{R_{eq}}$$

Como a corrente total i também pode ser obtida por $i = i_1 + i_2 + i_3$, para os três resistores considerados, podemos escrever:

$$\frac{U}{R_{eq}} = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \frac{U}{R_3}$$

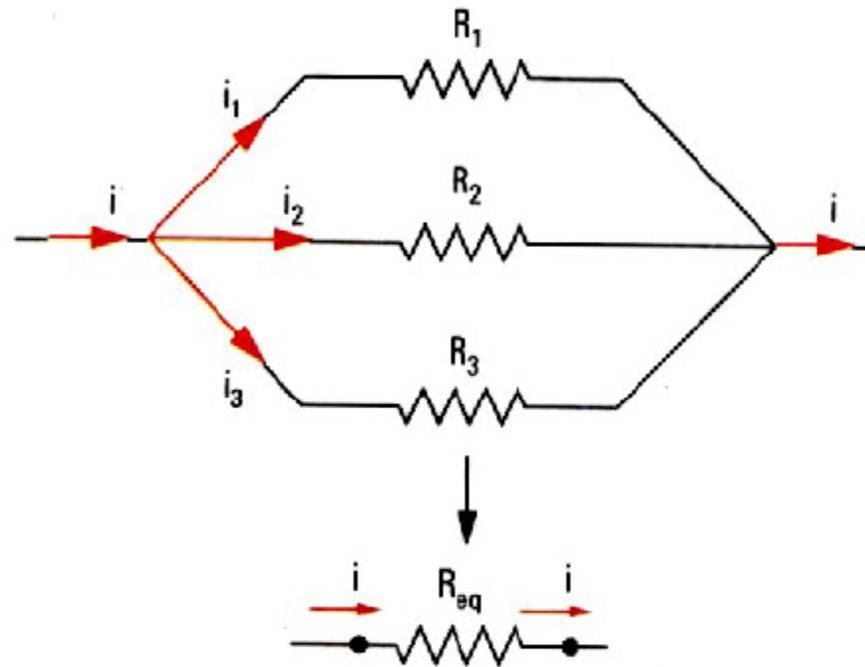
Portanto:

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

Em geral, para diversos resistores em paralelo, podemos fazer:

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots$$

Esquemáticamente:



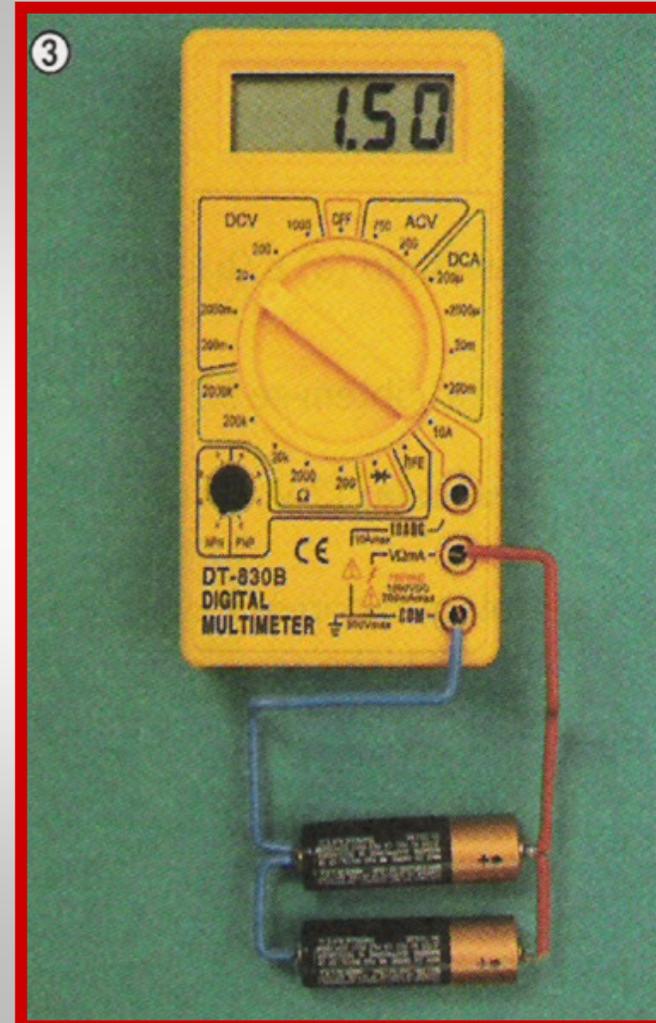
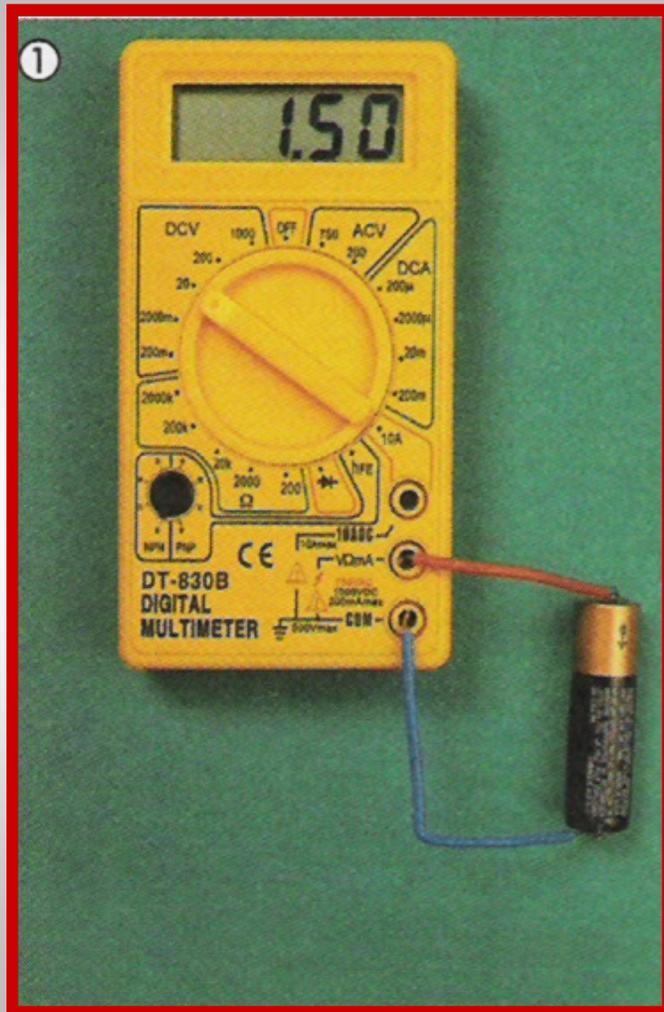
Observações:

- Para dois resistores de resistência R_1 e R_2 , associados em paralelo temos:

$$R_{eq} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

Associação de Geradores

→ Paralelo



A

CIRCUITOS PARALELO

Para uma associação com vários resistores de valores diferentes em paralelo:

$$R1 = 12\Omega$$

$$R2 = 6\Omega$$

$$R3 = 4\Omega$$

$$1/R_t = 1/12 + 1/6 + 1/4$$

$$R_t = 2\Omega$$

CIRCUITOS SÉRIE PARALELO

Para uma associação com vários resistores de mesmo valor em paralelo, toma-se o valor de um e divide-se pelo número deles:

$$R_{eq} = R/n$$

$$R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = 20\Omega$$

$$R_t = 20/4 = 5\Omega$$

CIRCUITOS PARALELO

Para uma associação com dois resistores de valores diferentes em paralelo, a Resistência equivalente será:

$$R_{eq} = (R1.R2)/(R1+R2)$$

$$R1 = 2 \Omega$$

$$R2 = 3 \Omega$$

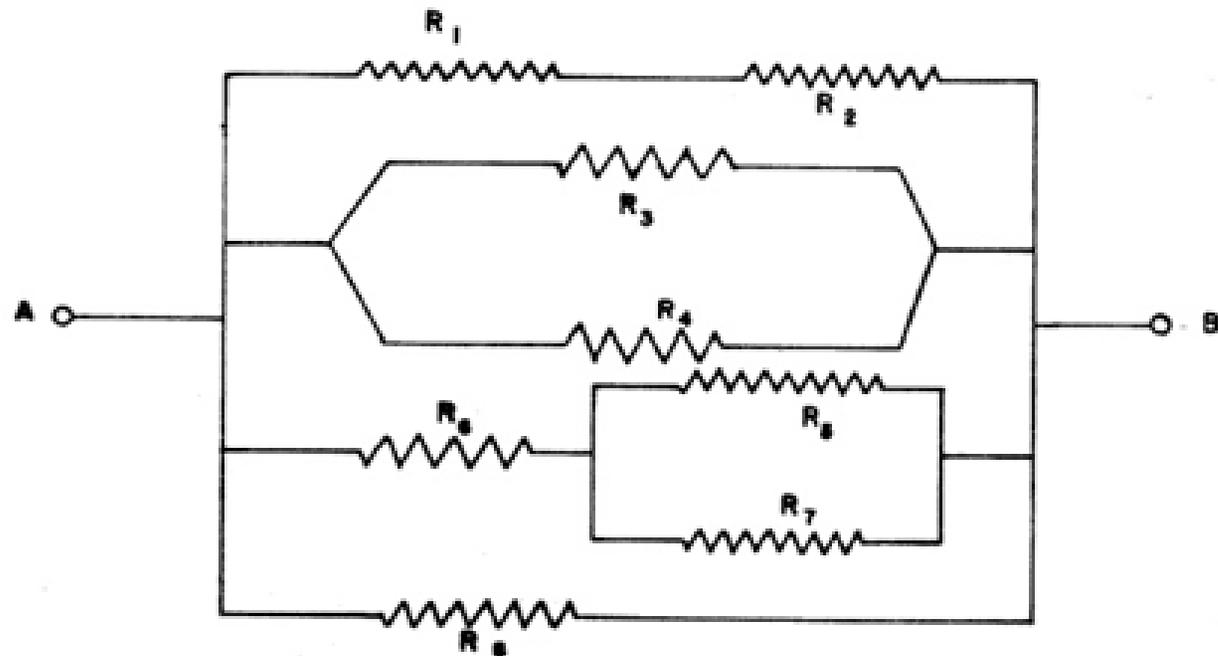
$$R_{eq} = (2.3)/(2+3) = 6/5 \Omega$$

CIRCUITOS SÉRIE e PARALELO

CIRCUITOS MISTO

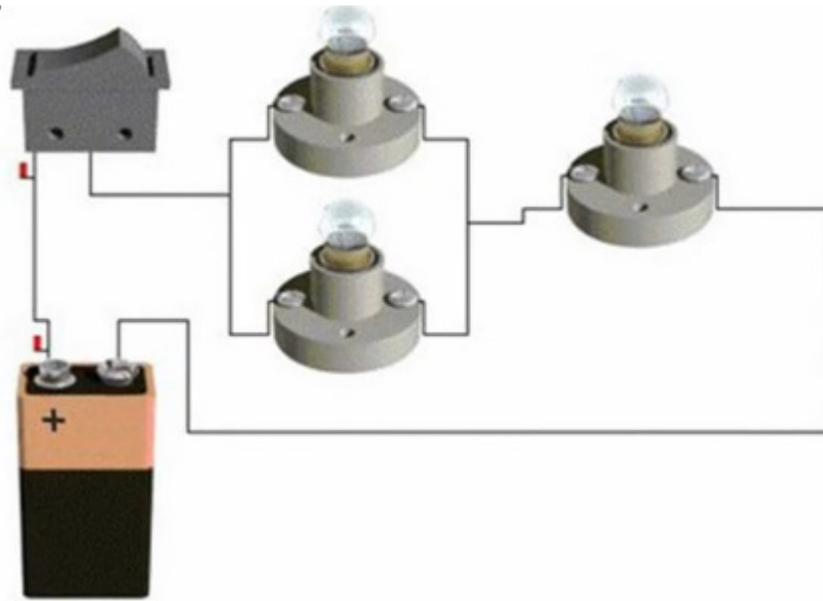
É uma combinação de componentes tanto em série como em paralelo.

Reúne as características dos circuitos em série e em paralelo.



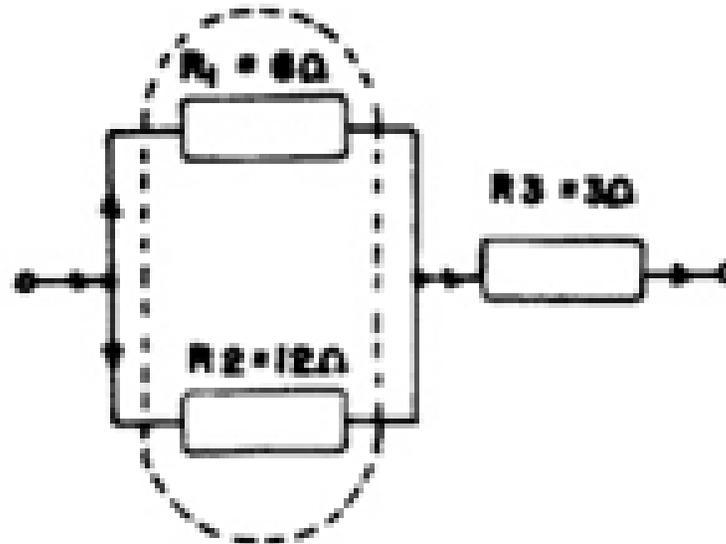
CIRCUITOS SÉRIE PARALELO

CIRCUITOS MISTO



CIRCUITOS SÉRIE PARALELO

CIRCUITOS MISTO



$$R_{eq} = (R_1 \cdot R_2) / (R_1 + R_2) = (6 \cdot 12) / (6 + 12) = 4$$

$$R_t = 4 + 3$$

$$R_t = 7\Omega$$

Está na hora de praticar o que aprendemos!

01. A figura abaixo ilustra uma situação que trata da realidade de milhares de brasileiras. Tendo em vista a instalação dos eletrodomésticos presentes na situação, de que forma eles estão instalados? Em série ou paralelo? Justifique sua resposta.



Imagem: Woman irons daughters dress / National Archive and Records Administration / Public Domain

02. Considere duas situações. Na situação A, uma lâmpada é conectada a uma bateria, que fornece uma ddp constante, e, na situação B, duas lâmpadas iguais são conectadas em série à mesma bateria. Comparando-se as duas situações, na situação B, a bateria provê:

- a) a mesma luminosidade.
- b) maior intensidade de corrente.
- c) menor intensidade de corrente.
- d) maior luminosidade.
- e) menor tensão.

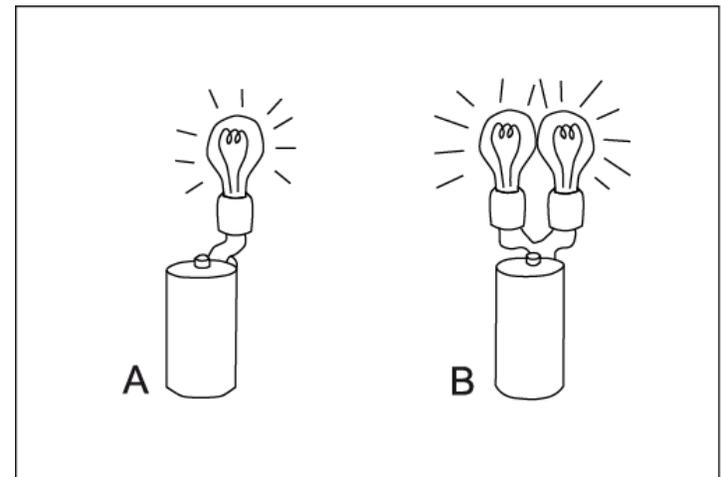
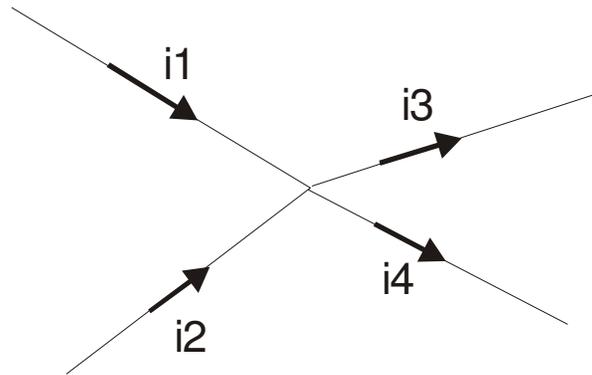


Imagem: SEE-PE, redesenhado a partir de imagem de Autor Desconhecido.

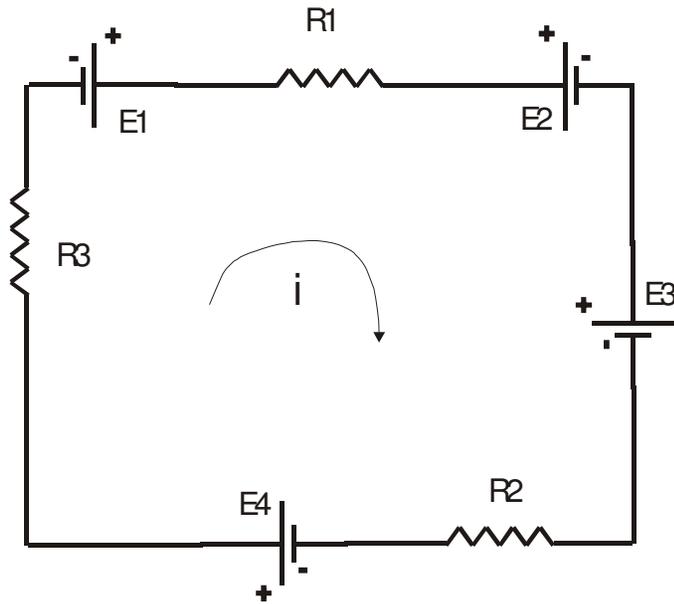
LEIS DE KIRCHHOFF

Lei dos nós



$$\sum i_{chegam} = \sum i_{saem}$$

LEI DAS MALHAS



E_1, E_4 são geradores.

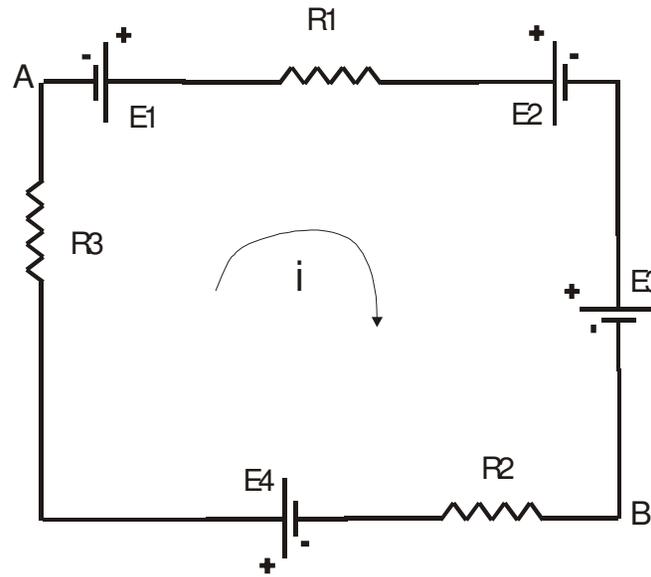
E_2, E_3 são receptores.

R são resistores

$$\sum (U_{\text{geradores}} + U_{\text{receptores}} + U_{\text{resistores}}) = 0$$

Adotamos para E: (+) nos geradores e (-) nos receptores e Resistores

LEI DE OHM GENERALIZADA



$$U_{AB} = \sum (U_{\text{geradores}} + U_{\text{receptores}} + U_{\text{resistores}})$$

Na figura a seguir observa-se um circuito elétrico com dois geradores (E_1 e E_2) e alguns resistores.

Utilizando a 1ª lei de Kirchoff ou lei dos nós, pode-se afirmar que

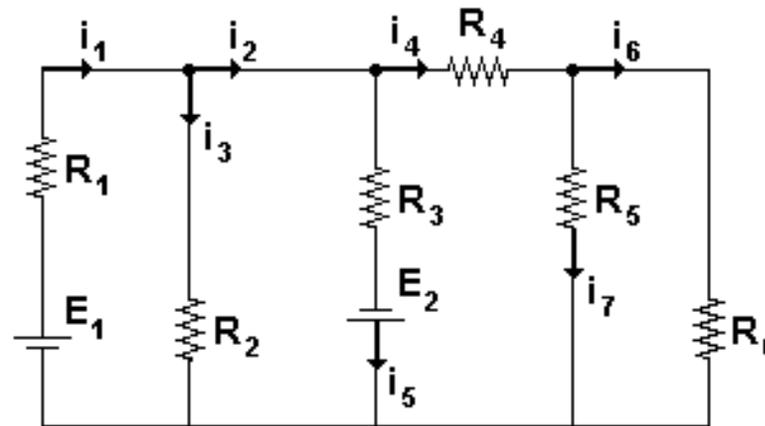
a) $i_1 = i_2 - i_3$

b) $i_2 + i_4 = i_5$

c) $i_4 + i_7 = i_6$

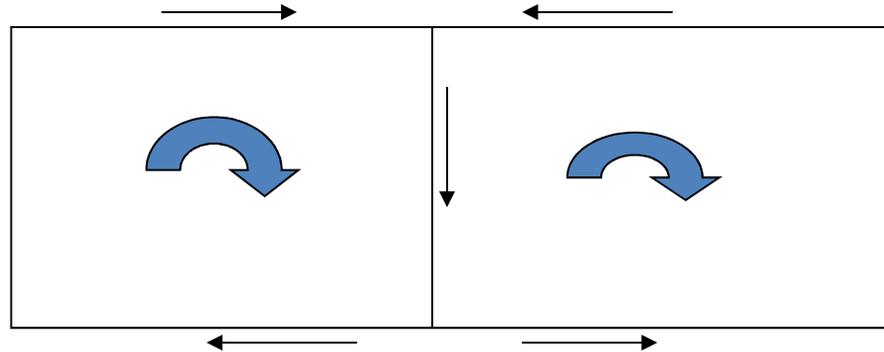
d) $i_2 + i_3 = i_1$

e) $i_1 + i_4 + i_6 = 0$.



Resp.:D

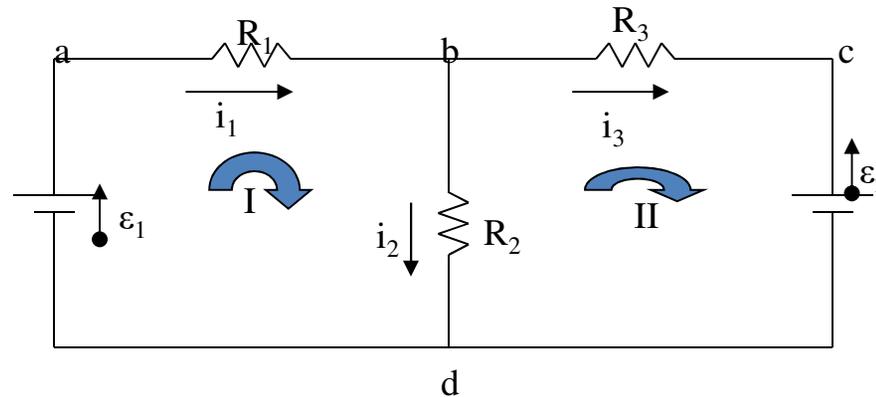
SISTEMAS DE MALHAS



- Use a lei dos nós em um dos nós.
- Para cada malha, escolha um sentido para circulação da corrente(caso exista dois sentidos).
- Use a lei das malhas para cada uma das malhas, resultando em um sistema de equações.

01) No nó b, $i_2 = i_1 - i_3$.

V - aplicando a lei dos nós.

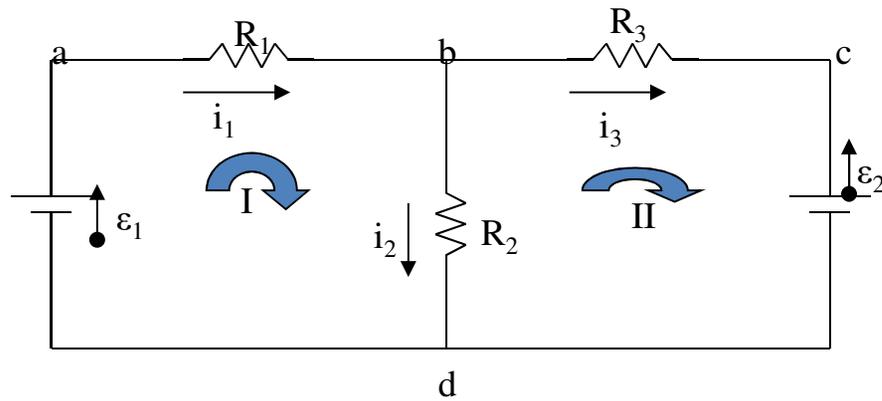


Malha 1:

$$U_{ger} + U_{rec} + U_{res} = 0$$

$$-0,24 + 10.i_1 + 15.i_2 = 0$$

$$25.i_1 - 15i_3 = 0,24$$



Malha 2:

$$0,1 - 15 \cdot i_2 + 5 \cdot i_3 = 0$$

$$15i_1 - 20i_3 = 0,1$$

$$\begin{cases} 25.i_1 - 15i_3 = 0,24 \\ 15i_1 - 20i_3 = 0,1 \end{cases}$$

$$i_1 = 0,012 \text{ A}$$

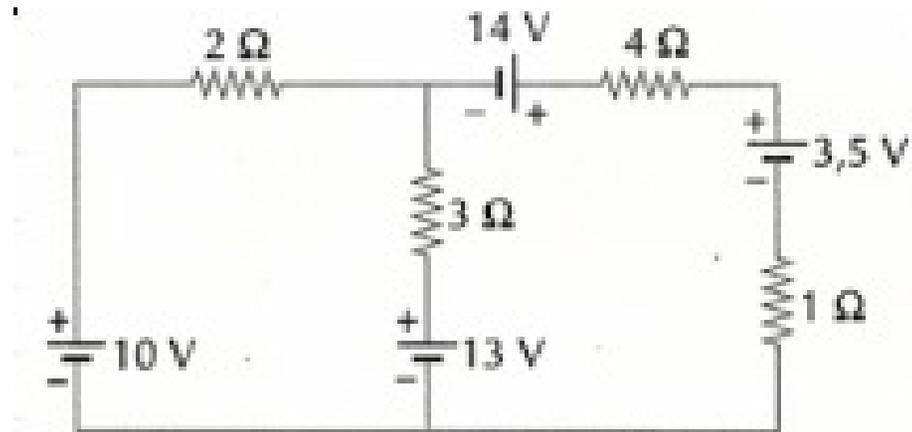
$$i_2 = 0,008 \text{ A}$$

$$i_3 = 0,004 \text{ A}$$

LEIS DE KIRCHHOFF

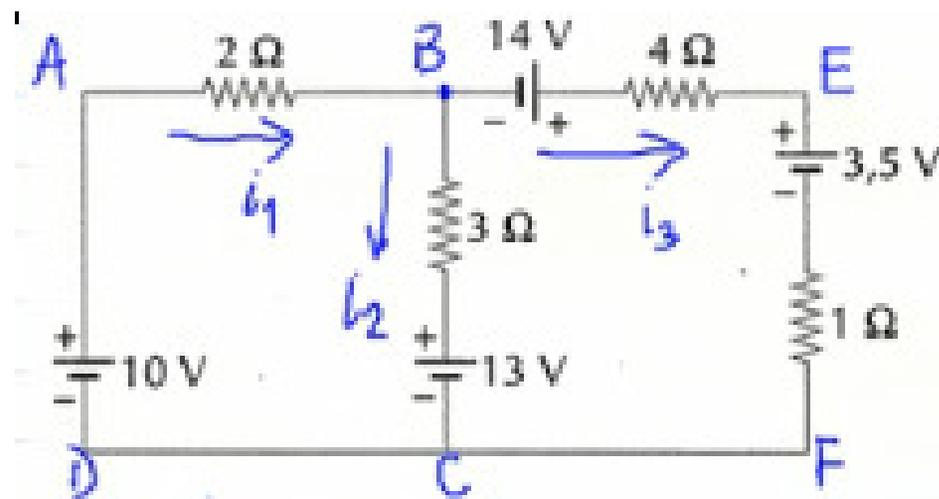
EXERCÍCIO

Para o circuito abaixo, determinar a intensidade da corrente elétrica em todos os ramos:



LEIS DE KIRCHHOFF

Para aplicar a Lei dos Nós vamos escolher um sentido de percurso da corrente.



Para este circuito, $i_1 = i_2 + i_3$

LEIS DE KIRCHHOFF

Lei das malhas para ABCDA

$$10 - 2i_1 - 3i_2 - 13 = 0$$

$$-2i_1 - 3i_2 - 3 = 0$$

Lei das malhas para BEFCB

$$14 - 4i_3 - 3,5 - 1i_3 + 13 + 3i_2 = 0$$

$$-5i_3 + 3i_2 + 23,5 = 0$$

Equações

$$i_1 = i_2 + i_3 \quad (I)$$

$$-2i_1 - 3i_2 - 3 = 0 \quad (II)$$

$$+3i_2 - 5i_3 + 23,5 = 0 \quad (III)$$

LEIS DE KIRCHHOFF

$$-2(i_2 + i_3) - 3i_2 - 3 = 0$$

$$-5i_2 - 2i_3 - 3 = 0$$

$$-5i_2 - 2i_3 - 3 = 0$$

$$3i_2 - 5i_3 + 23,5 = 0$$

(III)

(x3)

(x5)

método da adição

$$-15i_2 - 6i_3 - 9 = 0$$

$$15i_2 - 25i_3 + 117,5 = 0$$

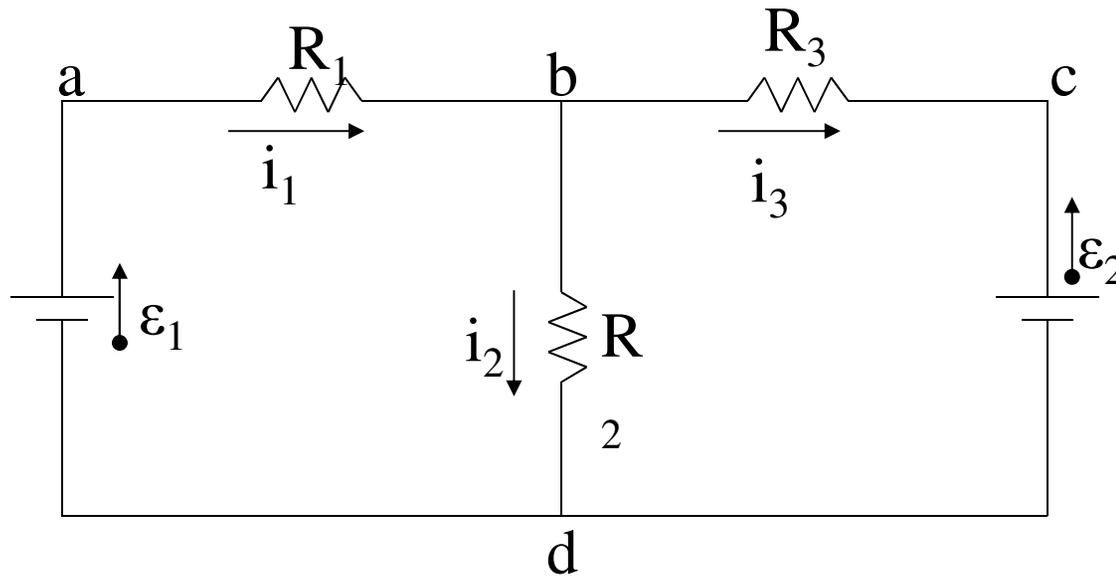
$$0 - 31i_3 + 108,5 = 0$$

$$\mathbf{i_3 = 3,5A}$$

$$\mathbf{i_2 = -2A}$$
 (sentido inverso)

$$\mathbf{i_1 = 1,5A}$$

(Exercício para Casa) Relativamente ao circuito elétrico representado na figura a seguir, assumamos que $R_1 = 10,0 \Omega$, $R_2 = 15,0 \Omega$, $R_3 = 5,0 \Omega$, $\mathcal{E}_1 = 240,0 \text{ mV}$ e $\mathcal{E}_2 = 100,0 \text{ mV}$. Encontre as correntes em cada resistência.

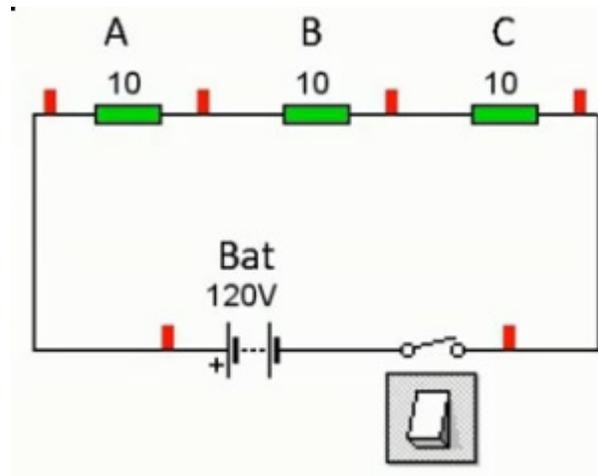


Resposta:

$$i_1 = 0,012 \text{ A}$$
$$i_2 = 0,008 \text{ A}$$
$$i_3 = 0,004 \text{ A}$$

Potência em Corrente Contínua

Exercício:



Potência em Corrente Contínua

1- determinar a Req. do circuito:

$$Req. = 10 + 10 + 10 = 30\Omega$$

2- determinar a corrente do circuito:

$$I = 120/30 = 4A$$

Para calcular a potência total do circuito podemos utilizar dois processos:

Potência em Corrente Contínua

- $P_t = P_a + P_b + P_c$
- $P_t = V \cdot I$

$$P_t = P_a + P_b + P_c$$

$$P_a = V_a \cdot I = 40 \cdot 4 = 160 \text{ W}$$

$$P_b = V_b \cdot I = 40 \cdot 4 = 160 \text{ W}$$

$$P_c = V_c \cdot I = 40 \cdot 4 = 160 \text{ W}$$

$$P_t = 480 \text{ W}$$

$$P_t = V \cdot I = 120 \cdot 4$$

$$P_t = 480 \text{ W}$$

Potência em Corrente Contínua

POTÊNCIA PERDIDA

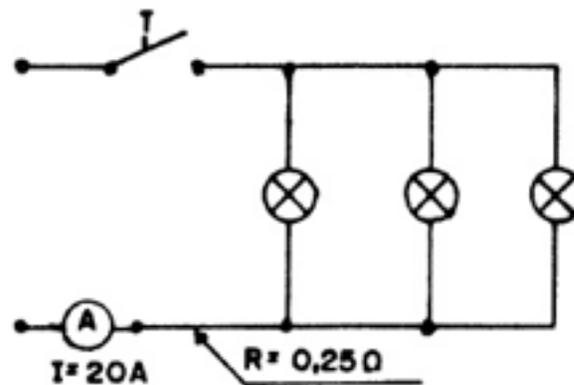
Aquecimento da rede:

Considere o circuito elétrico de um prédio. Com ampliação dos escritórios e conseqüente aumento de consumidores, tais como: máquinas de escrever, calculadoras, lâmpadas, etc., é comum o aumento da potência.

O circuito do prédio, se considerarmos a resistência dos condutores, é um circuito misto.

Potência em Corrente Contínua

No circuito abaixo, a corrente é de 20 A e a resistência de um condutor é de $0,25\Omega$.



A rede terá então $0,25 + 0,25 = 0,5\Omega$

• Perda na rede $P = I^2 \cdot R$; $P = 20^2 \cdot 0,5$

$$P = 200W$$

Esta potência é que produz o aquecimento na rede.

Potência em Corrente Contínua

Por um condutor de 2Ω circula uma corrente de 10 A.

A potência perdida será:

$$P = I^2 \cdot R = 10^2 \cdot 2$$

$$P = 200 \text{ W}$$

Elevando a corrente para 20A a perda será:

$$P = I^2 \cdot R = 20^2 \cdot 2$$

$$P = 800 \text{ W}$$

Um aumento na corrente provoca também um aumento bem maior na temperatura isso gera maior risco quanto à segurança, maior risco de incêndio.

Potência em Corrente Contínua

RENDIMENTO ELÉTRICO (η)

O rendimento elétrico de um equipamento traduz a sua qualidade e é definido como sendo a relação entre a potência de saída em relação à potência de entrada.

$$\eta = \text{Potência de saída} / \text{Potência de entrada} \times 100$$

Potência em Corrente Contínua

RENDIMENTO ELÉTRICO (η)

Um motor elétrico absorve da rede da COPEL uma potência de 1200kW e fornece no seu eixo uma potência elétrica equivalente de 1120kW. Calcular o seu rendimento.

$$\eta = 1120/1200 = 93,33\%$$

Ou seja, o motor tem perda 80kW na transformação de energia.

Potência em Corrente Contínua

RENDIMENTO ELÉTRICO (η)

Um motor elétrico tem um rendimento de 96% e consome da COPEL uma potência de 500kW. Calcular qual será a potência elétrica que este motor irá fornecer no seu eixo.

Potência em Corrente Contínua

RENDIMENTO ELÉTRICO (η)

$$\eta = P_s / P_e \cdot 100$$

$$P_s = 0,96 \cdot 500$$

$$P_s = 480\text{kW}$$

Há uma perda de 20kW

Potência em Corrente Contínua

RENDIMENTO ELÉTRICO (η)

Pede-se para comprar um motor elétrico de 4500kW (potência no eixo do motor) que deverá trabalhar durante 20 anos, com um regime de 650 horas por mês. Sabe-se que o custo do kWh é de R\$ 0,085. após uma consulta ao mercado obtivemos as seguintes propostas:

A: motor elétrico de 4500kW, $\eta = 94,5\%$, R\$ 1.210.000,00

B: motor elétrico de 4500kW, $\eta = 92,55\%$, R\$ 1.150.000,00

Qual o motor devemos adquirir e por que?

Potência em Corrente Contínua

RENDIMENTO ELÉTRICO (η)

A: 4500kW no eixo do motor será $P_e = P_s/\eta = 4500/0,945$ $P_e =$
4762,90kW

Trabalhando 650 h/m irá consumir $E = 4762,9 \times 650$

$E = 3.095.885,00\text{kWh}$

Em um ano $E = 37.150.620\text{kWh/ano.}$

A despesa anual: R\$ 3.157.802,70

Potência em Corrente Contínua

B: 4500kW no eixo do motor será $P_e = P_s/\eta = 4862,23\text{kW}$

Trabalhando 650 h/m irá consumir $E = 3.160.453,80\text{kWh}$

Em um ano $E = 37.925.445,70\text{kWh/ano}$.

A despesa anual: R\$ 3.223.662,88

A diferença de consumo $A - B = \text{R\$ } 65.860,18$ (B consome mais)

Comprar A